Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 1, Mar.-Apr., 2025, p. 13-27

Effect of Chitosan Coating with Different Degrees of Deacetylation on the Shelf Life of Button Mushroom (*Agaricus bisporus*)

H. Ghorbanzadeh[1], J. Mohammadzadeh Milani[2*], A. Motamedzadegan[2]

1 and 2- M.Sc.Graduated Student and Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: j.milani@sanru.ac.ir)

Received: 13.11.2023 Revised: 11.12.2023 Accepted: 14.12.2023 Available Online: 16.12.2023	**How to cite this article:** Ghorbanzadeh, H., Mohammadzadeh Milani, J., & Motamedzadegan, A. (2025). Effect of chitosan coating with different degrees of deacetylation on the shelf life of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 21*(1), 13-27. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.85321.1293

Introduction

With the growth of the population and increasing demand for obtaining food and supplying the required food, the interest in the cultivation and consumption of edible mushrooms has increased. Since 1990, the world has focused on the mushroom production industry. In recent years, mushrooms have become one of the most important food and medicinal sources. One of the largest species of edible mushroom is button mushroom (*Agaricus bisporus*), which has high nutritional value due to the presence of fiber, carbohydrates, protein, amino acids, minerals, vitamins, etc., and also its antioxidant, anti-cancer, and anti-diabetic properties. This commodity has shown good health benefit for humans. The quality of button mushrooms is determined by their color, texture, and taste. Color is the first characteristic that is perceived by consumers. Browning is one of the main reasons for the loss of mushroom quality, which reduces the commercial value of mushrooms. Edible coating is considered as the best method for maintaining quality of perishable foods, these coatings almost prevent the penetration of oxygen, depending on the type of coating used, and reduce the loss of moisture during storage. Chitosan has functional characteristics such as antimicrobial and antioxidant properties. The purpose of this research was to find a suitable chitosan coating for button mushrooms that can maintain its characteristics such as color, texture hardness, and moisture during the storage period and increase the shelf life of mushroom.

Materials and Methods

To make chitosan solutions, first, each type of chitosan (70% deacetylated, 80% deacetylated, 90% deacetylated, and 100% deacetylated) was weighed in amounts of 0.5g, 1g, and 2g., then it was dissolved in 100 ml of 0.5% acetic acid and stirred for 12 hours at a speed of 1000 rpm at room temperature to dissolve uniformly. After 12 hours, each sample was centrifuged for 15 minutes at 6000 rpm at 25°C to separate undissolved materials. Mushrooms were prepared freshly harvested, washed with water, and then excess water was removed. After sorting and screening in terms of size and approximate weight, the mushrooms were added to 0.5%, 1%, and 2% chitosan solutions without being sliced and were immersed in the solution for one minute. The control sample was immersed in 0.5% acetic acid solution for one minute. After that, the mushrooms were air-dried at room temperature for one hour, and at the end, their excess water was removed with a tissue. The mushrooms were placed in 18*14 size polyethylene zip lock bags and stored in a refrigerator at 4°C. The effects of chitosan coating on weight loss, color and browning index, enzyme activity, texture, and total phenolic compounds of mushroom were studied.

Results and Discussion

The spoilage of edible mushrooms happens in a short time, and the storage of mushrooms has become one of the most important challenges in mushroom marketing. Coating edible mushrooms is one of the suitable methods to increase the shelf life of edible mushrooms. In this research, chitosan with four degrees of deacetylation and

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.85321.1293

three different concentrations was used as a coating for button mushroom. The results indicated that coating the mushroom with chitosan could delay the occurrence of spoilage and change its color or texture. Due to the very strong antimicrobial properties of chitosan, it is suggested to investigate the microbial load of edible button mushrooms ans other tissue factors of the mushroom, such as gumminess, adhesive properties and cohesieveness.

Conclusion

The spoilage of edible mushrooms happens in a short time, and the storage of mushrooms has become one of the most important things in mushroom production. Coating edible mushrooms is one of the suitable methods to increase the shelf life of edible mushrooms. In this research, chitosan with four degrees of deacetylation and three different concentrations was used as a coating for button mushroom. The results indicated that coating the mushroom with chitosan could delay the occurrence of spoilage and change its color or texture. Due to the very strong antimicrobial properties of chitosan, it is suggested to investigate the microbial load of edible button mushrooms, also other tissue factors of the mushroom, such as gumminess, adhesive properties and cohesieveness can be studied.

Keywords: Button mushroom, Chitosan, Coating, Shelf life

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۱، فروردین-اردیبهشت ۱۴۰۴، ص. ۲۷-۱۳

تأثیر پوشش کیتوزان با درجات مختلف استیل‌زدایی در ماندگاری قارچ دکمه‌ای خوراکی (*Agaricus bisporus*)

هدی قربانزاده[۱]- جعفر محمد زاده میلانی[۲]*- علی معتمدزادگان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳

چکیده

یکی از مؤثرترین روش‌ها برای افزایش طول مدت نگهداری قارچ خوراکی دکمه‌ای، استفاده از پوشش‌های خوراکی است. در این مطالعه، تأثیر کیتوزان به‌عنوان یکی از پو شش‌های خوراکی، با در صدهای ا ستیل‌زدایی متفاوت (۷۰ تا ۱۰۰ در صد) با سه غلظت‌های مختلف مورد برر سی قرار گرفت. تأثیرات پو شش کیتوزانی بر روی افت وزنی، رنگ قارچ و اندیس قهوه‌ای شدن، فعالیت آنزیمی، بافت و ترکیبات فنلی کل مطالعه شد. به این منظور قارچ‌ها در محلول‌های کیتوزان با غلظت‌های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد پوشش داده شدند و برای مدت ۱۲ روز در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. نتایج آزمون‌ها حاکی از تأثیر مناسب پوشش‌دهی کیتوزان بر نمونه‌های قارچ خوراکی بود، به‌طوری‌که میزان فنل کل در تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی۷۰ درصد با غلظت یک درصد، در روز دوازدهم به $(u \cdot g^{-1})$۰/۴۵ ر سید، میزان آنزیم پراک سیداز در تیمار کیتوزان ۷۰ در صد ا ستیل‌زدایی شده با غلظت ۰/۵ در صد، $(u \cdot g^{-1})$ ۰/۸ بود و میزان سفتی نمونه در تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی شده ۷۰ درصد با غلظت ۲ درصد، تنها به میزان ۴۰۱ گرم کاهش پیدا کرد در صورتی‌که نمونه شاهد به میزان ۳۳۸۵/۵ گرم، سفتی خود را از دست داد. در کنترل افت وزنی، تیمار ۱۰۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۲ درصد بهترین نتیجه را نشان داد و تنها ۱/۱۱ درصد افت وزنی داشت. آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تیمار ۹۰ درصد استیل‌زدایی شده با غلظت ۲ درصد، در روز دوازدهم آزمایش به $(u \cdot g^{-1})$ ۰/۶۷ رسید. تیمار کیتوزان با درجه ا ستیل‌زدایی ۱۰۰ در صد و ۹۰ در صد در آزمون حسی، نتیجه بهتری از ارزیاب‌ها دریافت کرد. تیمار کیتوزان با درجه ا ستیل‌زدایی ۹۰ در صد و غلظت ۰/۵ درصد، عملکرد بسیار مناسبی نسبت به اندیس قهوه‌ای شدن نشان داد، به‌طوری‌که در روز دوازدهم آزمایش، اندیس قهوه‌ای شدن نمونه به میزان ۸۵/۴۷ رسید.

واژه‌های کلیدی: پوشش، قارچ دکمه‌ای، کیتوزان، ماندگاری

مقدمه

چهار گونه عمده قارچ خوراکی که عبارتند از قارچ‌های دکمه‌ای، قارچ‌های صدفی، قارچ شیتاکه و قارچ فالمولینا، نزدیک به ۸۰ در صد تولید جهانی قارچ خوراکی را به خود اخت صاص می‌دهند. پرورش قارچ خوراکی در ایران در قالب تولید دو نوع قارچ دکمه‌ای و قارچ صدفی انجام می‌شود. از آن جا که فعالیت قارچ دکمه‌ای به‌دلیل حساسیت بالا، باید در محیط‌هایی که درجه حرارت، نور و رطوبت به‌صورت دقیق کنترل می‌شود پرورش داده شود، فلذا پرورش آن به‌صورت صنعتی و در محیط‌هایی که دارای تأ سیسات و تجهیزات ا ست انجام می‌گردد.

از تعداد ۱۹۵۳ واحد پرورش قارچ خوراکی در کشور، ۱۹۰۹ واحد به تولید قارچ دکمه‌ای، ۳۳ واحد به پرورش قارچ صدفی و ۱۱ واحد نیز به پرورش هر دو نوع قارچ، فعالیت دارند. از واحدهای پرورش قارچ خوراکی کشور، ۱۲۶۷ واحد فعال و ۶۸۶ واحد غیر فعال می‌باشند (نتایج سرشماری از واحدهای پرورش قارچ خوراکی؛ ۱۴۰۰)

مقدار تولید انواع قارچ خوراکی در سال ۱۳۹۹ شامل ۱۰۶۰۶۴ تن قارچ دکمه‌ای و ۲۶۸ تن قارچ صدفی است (نتایج سرشماری از

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کار شنا سی ار شد و ا ستاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: j.milani@sanru.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/ifstrj.2023.85321.1293

واحدهای پرورش قارچ خوراکی؛ ۱۴۰۰). ایران با تولید ۱۰۱۳۶۵ تن در سال ۲۰۱۹ در مقایسه با سایر کشورها در تولید قارچ، رتبه ۹ را به خود اختصاص داد و بعد از ایران، انگلستان با ۱۰۰۷۸۱ تن در رتبه دهم قرار گرفت. چین با ۸۹۴۸۰۹۹ تن در سال ۲۰۱۹ بالاترین رتبه را در تولید قارچ خوراکی دارد. ژاپن، ایالات متحده و لهستان به‌ترتیب در رتبه‌های ۲، ۳ و ۴ این رتبه‌بندی قرار گرفتند (FAO Source).

طبق نتایج سرشماری در سال ۱۴۰۰، مقدار ضایعات پس از تولید واحد های پرورش قارچ خوراکی در ایران، ۱۳۶۱ تن بوده که ۱/۲۵ درصد کل تولیدات را شامل می‌شود.

با رشد جمعیت و تقاضای روزافزون برای تأمین مواد غذایی، گرایش به کشت و مصرف قارچ خوراکی نیز افزایش یافته است. از سال ۱۹۹۰، جهان به صورت متمرکز صنعت تولید قارچ را دنبال کرده است. در سال‌های اخیر به‌دلیل طعم و محتوای مغذی، قارچ به یکی از مهم‌ترین منابع غذایی و دارویی کاربردی تبدیل شده است. علاوه بر این‌که پروتئین‌های قارچ می‌توانند جایگزین مناسبی برای پروتئین‌های سبد غذایی باشند؛ انواع مختلفی از ویتامین‌ها و مواد معدنی نیز در قارچ‌های خوراکی وجود دارد (Lin & Sun, 2019). یکی از بزرگ‌ترین گونه‌های قارچ خوراکی، *آگاریکوس بیسپورس* (*Agaricus bisporus*) است که از ارزش غذایی و دارویی بالایی برخوردار است. مصرف این قارچ در شش تا هفت دهه گذشته به‌طور مداوم در حال افزایش بوده است (Usman *et al.*, 2021). قارچ دکمه‌ای نام دیگر *Agaricus bisporus* است که منبع غذایی ارزشمند با چندین ترکیب فعال زیستی مهم است. قارچ دکمه‌ای یکی از محبوب‌ترین انواع قارچ‌های خوراکی در جهان است (Louis *et al.*, 2021). به‌دلیل وجود مواردی همچون فیبر، کربوهیدرات، پروتئین، آمینواسید، مواد معدنی، ویتامین‌ها و ... قارچ دکمه‌ای دارای ارزش غذایی بالا و خواص آنتی‌اکسیدانی، ضد سرطانی و ضد دیابتی است (Kalač, 2013; Muszynska *et al.*, 2017). لازم به ذکر است که این ماده‌غذایی خواص سلامتی‌بخش مناسبی برای انسان از خود نشان داده است (Jiang *et al.*, 2015).

A. bisporus در مقایسه با سایر گونه‌های پرمصرف از نظر کربوهیدرات، پروتئین و چربی نسبتاً غنی است. قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) رایج‌ترین گونه قارچ خوراکی کشت شده در سراسر جهان است و به‌دلیل خواص غذایی، ارگانولپتیکی و دارویی آن در بین مصرف‌کنندگان بسیار محبوب است (Nasiri *et al.*, 2018). کیفیت قارچ دکمه‌ای با رنگ، بافت و طعم آن تعیین می‌شود. رنگ اولین مشخصه‌ای است که توسط مصرف‌کنندگان درک می شود (Weijn *et al.*, 2011). اخیرا پیشرفت‌هایی در حفظ خواص قارچ دکمه‌ای صورت گرفته است (Zhang *et al.*, 2018). قهوه‌ای شدن یکی از دلایل اصلی افت کیفیت قارچ است که این موضوع ارزش تجاری قارچ را کاهش می‌دهد، به‌طور کلی قارچ‌های سفید بازار مناسب‌تری دارند (Wu *et al.*, 2016). از آن‌جایی که قابلیت نگهداری قارچ دکمه‌ای در دمای محیط (۲۰-۲۵ درجه سانتی‌گراد) در کوتاه مدت بین ۳ تا ۴ روز و در دمای یخچال (۴ درجه سانتی‌گراد) حدود ۵ تا ۷ روز می‌باشد، ارزش اقتصادی خود را در مدت کوتاهی از دست می‌دهد. پس از این زمان، قارچ دکمه‌ای دچار قهوه‌ای شدن، از دست دادن وزن و رطوبت می‌گردد و حتی ممکن است مورد حمله باکتری‌ها و میکروب‌ها نیز قرار بگیرد (Jiang, 2013).

قارچ خوراکی به‌دلیل فسادپذیری بالا، طی مدت زمان کوتاهی ویژگی‌های مطلوب از جمله سفیدی، بافت ترد، رطوبت، طعم و مزه ابتدایی خود را از دست می‌دهد. تغییرات اتفاق افتاده در قارچ‌خوراکی، باعث کاهش بازارپسندی آن در طول مدت نگهداری می‌گردد. از این‌رو یافتن روشی مناسب برای طولانی کردن مدت زمان نگهداری قارچ و حفظ ویژگی های آن، همواره از مطالعات مربوط به این محصول بوده است.

سبزیجات، میوه‌های تازه و قارچ‌های خوراکی به‌مدت طولانی پس از برداشت نیز از نظر متابولیکی فعال می باشند. تنفس یکی از فرآیندهای متابولیکی است که انرژی لازم برای دیگر فعالیت‌ها را فراهم می‌کند. تنفس هوازی شامل تجزیه ذخایری همچون کربوهیدرات‌ها و لیپیدها و تبدیل آن‌ها به مولکول‌های ریزتر و ساده‌تر مثل کربن دی اکسید و آب می‌شود. محصولات این عمل برای فعالیت‌های بعدی مثل فعالیت‌های آنزیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرعت تنفس به‌عنوان یک معیار برای فعالیت‌های متابولیکی درنظر گرفته می‌شود. قارچ‌ها در مقایسه با سبزیجات و میوه‌ها سرعت تنفس بالاتری دارند (Ares *et al.*, 2006). قهوه‌ای شدن آنزیمی قارچ در طول نگهداری فرآیند پیچیده‌ای است. اختلال در یکپارچگی سلولی قارچ اجازه می‌دهد تا تماس بین آنزیم و سوبستراهای آنها برقرار شود (Beaulieu *et al.*, 2002). آنزیم اصلی عامل قهوه‌ای شدن قارچ، آنزیم پلی‌فنل اکسیداز است (Lei *et al.*, 2018). عوامل مؤثر بر قهوه‌ای شدن آنزیمی قارچ عبارتند از: فعالیت و مقدار آنزیم پلی‌فنل اکسیداز (PPO)، محتویات ترکیبات فنلی، عوامل بیماری‌زا و محیط پس از برداشت مانند دما و رطوبت نسبی؛ بنابراین، عوامل قابل کنترل مانند محیط پس از برداشت، فعالیت PPO و عوامل بیماری‌زا از جمله پرطرفدارترین موضوعات در مطالعات پس از برداشت قارچ هستند (Joshi *et al.*, 2018; Ghasemi-Varnamkhasti *et al.*, 2018; Gantner *et al.*, 2017). روش های مختلفی برای کنترل قهوه‌ای شدن قارچ، وجود دارد. خنک‌سازی پرکاربردترین روش در افزایش ماندگاری محصولات کشاورزی است. با این حال، اثر بازدارندگی

قهوه‌ای شدن قارچ با سرد شدن محدود است. روش‌های دیگری مانند بسته‌بندی با اتمسفر اصلاح شده و پوشش‌دهی نیز توسط بسیاری از محققان با هدف یافتن مؤثرترین راه برای افزایش ماندگاری قارچ دکمه‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است (Xu *et al*., 2005). باکتری‌ها، کپک‌ها، فعالیت آنزیم‌ها و تغییرات بیوشیمیایی‌می‌توانند از عوامل فساد قارچ در طول نگهداری به حســاب آیند (Jiang , 2013). بنابراین قارچ‌های خوراکی یا باید پس از برداشت مصرف شوند و یا در مدت کوتاهی، فرآوری گردند.

اســتفاده از پوشــش‌های خوراکی یکی از خلاقانه‌ترین راه‌ها برای افزایش عمر تجاری محصولات تازه و فاسد شدنی است (Rezaiyan Attar *et al*., 2022). انواع پوشش‌ها به‌طور نسبی از نفوذ اکسیژن، جلوگیری می‌کنند و از دست رفتن رطوبت در طی نگهداری را کاهش داده و مانع از خروج آب از ماده غذایی می‌گردند (Zahedi *et al*., 2010). اولین‌بار اســتفاده از صــمغ عربی برای افزایش طول مدت نگهداری گوجه‌فرنگی توانســت گوجه‌فرنگی را تا ۲۰ روز بدون هیچ برگشــت طعم یا فســادی، نگهداری کند (Sedaghat & Zahedi, 2012). این عمل از طریق پوشــش‌دهی ســطح قارچ با لایه نازکی از مواد پوشــش‌دهنده‌ی خوراکی انجام می‌پذیرد و موجب تأخیر در بروز علائم پیری در ماده غذایی و در نتیجه افزایش زمان ماندگاری آن می شوند. استفاده از این روش هزینه کمی دارد و می‌توان از آن برای طیف وسیعی از میوه و سبزیجات استفاده کرد، هم‌چنین به‌دلیل قابلیت تجزیه‌پذیری و زیست‌تخریب‌پذیر بودن، استفاده از این نوع پوشش‌ها متداول‌تر و اقتصادی‌تر است. لیپیدها، پروتئین‌ها و پلی‌ساکاریدها موارد رایج برای استفاده در مواد پوشش‌دهنده مواد غذایی به حساب می‌آیند (Jiang, 2013).

کیتوزان (پلی-۲-آمینو-۲-دئوکسی-D-گلوکوپیرانوز) نامی برای گروهی از ترکیبات دی‌استیله شده کامل یا جزئی از کیتین است که به‌دلیل خواص منحصــر به فردی هم‌چون زیســت‌تخریب‌پذیر بودن و غیر سمی بودن، استفاده به تنهایی یا به همراه پلیمرهای طبیعی دیگر مثل نشاسته و ژلاتین و آلژینات در صنایع غذایی، داروسازی و دیگر صــنایع، کاربردهای زیادی دارد. پلیمر کیتوزان (poly b-(1,4)n-acetyl-d-glucosamine) که به‌طور صــنعتی توسـط اســتیل‌زدایی شــیمیایی کیتین موجود در اسـکلت بیرونی بندپایان و سـخت‌پوسـتان تولید می‌گردد، یکی از کارآمدترین موادی اســت که به‌عنوان پوشـش روی میوه‌ها و سبزیجات استفاده می‌شود (Rezaiyan Attar *et al*., 2023). کیتوزان دارای ویژگی‌های عملکردی مانند خصــوصــیات ضـدمیکروبی و آنتی‌اکسـیدانی اسـت، هم‌چنین به‌عنوان فیلم خوراکی می‌تواند حامل بسیار خوبی برای ترکیب شدن با عوامل آنتی‌اکسیدانی و عوامل ضــدمیکروبی به حســاب آید (Ardean *et al*., 2021).

کیتوزان را می‌توان با استیل‌زدایی جزئی یا کامل کیتین به‌دست آورد، گروه‌های اســتیل در زنجیره مولکولی کیتین برای تشــکیل گروه‌های آمینه در کیتوزان حذف می‌شــوند. به همین دلیل، کیتوزان را می‌توان به‌عنوان یک کوپلیمر طبقه‌بندی کرد که عمدتاً از ۲-آمینو-۲-دئوکسی-β-D-گلوکوپیرانوز (گلوکوزامین) و ۲-استامید-۲-دئوکسی-β-D-گلوکوپیرانوز (N استیل گلوکوزامین) که توسـط پیوندهای گلیکوزیدی β ۱ به ۴ به‌هم مرتبط شده‌اند (Ardean *et al*., 2021). کیتوزان در آب نامحلول، اما در محلول‌های اسید آلی ضعیف محلول است. مشتقات کیتوزان به شکل استات، آسکوربات، لاکتات و مالات محلول در آب هستند (Sudarshan, 1992; No *et al*., 2002).

مطالعات زیادی برای بررسی اثر پوشش‌دهی کیتوزان تا به امروز صــورت پذیرفته، ازجمله این پژوهش‌ها، اســتفاده از کیتوزان برای پوشــش‌دهی گوجـه‌فرنگی (El Ghaouth *et al*., 1992)، زردآلو (Ghasemnezhad *et al*., 2010)، انبه (Chien *et al*. 2007)، موز (Win *et al*., 2007)، میوه لیچی (Jiang *et al*., 2005) و پســته (Rezaiyan Attar *et al*., 2023) می‌باشد.

خواص منحصر به فرد کیتوزان، هم‌چون خاصیت ضدمیکروبی، تشکیل لایه محافظ و هم‌چنین مقاومت بالا در برابر گازها و بخار آب اســت که آن را به گزینه‌ای مناســب برای اســتفاده به‌عنوان پوشــش تبدیل می‌کند (Rezaiyan Attar *et al*., 2022). هدف از انجام این پژوهش، یافتن پوشش کیتوزانی مناسب برای قارچ‌دکمه‌ای می‌باشد که بتواند ویژگی‌هایی از جمله رنگ، ســختی بافت و رطوبت آن را در طول مدت نگهداری به‌خوبی حفظ کرده و زمان نگهداری قارچ را افزایش دهد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه

قارچ سفید دکمه‌ای مورد نیاز از یک واحد تولیدی تجاری قارچ در مازندران، شــهر فریدون‌کنار، پودر کیتوزان اســتیل‌زدایی شــده با وزن مولکولی بالا (با درجات استیل‌زدایی ۷۰ در صد، ۸۰ در صد، ۹۰ در صد و ۱۰۰ درصـد)، از شـرکت ایران کیتوزان واقع در شـهر شـیراز و مواد شیمیایی و معرف‌ها از شرکت سیگما تهیه شدند.

آماده‌سازی نمونه

برای ســاخت محلول‌های کیتوزان، ابتدا از هر نوع کیتوزان (۷۰ در صد استیل‌زدایی شده، ۸۰ در صد استیل‌زدایی شده، ۹۰ در صد استیل‌زدایی شده و ۱۰۰ درصد استیل‌زدایی شده) به مقادیر ۰/۵ گرم، ۱ گرم و ۲ گرم توزین شد، سپس در ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۵ درصد اسیداستیک حل و برای مدت ۱۲ ساعت با سرعت ۱۰۰۰ rpm در

دمای محیط همزده شد تا به‌طور یکنواخت حل شود (Win *et al.*, 2007). پس از ۱۲ ساعت، هر نمونه به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد تا مواد حل نشده از آن جدا گردد (Jiang & Li, 2001). قارچ‌کمه‌ای به‌صورت تازه برداشت شده، شستشو با آب و سپس رطوبت اضافی آن گرفته شد. قارچ‌ها بدون اسلایس شدن و به‌صورت کامل پس از سورتینگ و غربال‌گری از لحاظ اندازه و وزن تقریبی، در محلول های ۰/۵، ۱ و ۲ درصد کیتوزان به‌مدت یک دقیقه غوطه‌ور شدند. نمونه شاهد در محلول ۰/۵ درصد اسیداستیک به‌مدت یک دقیقه غوطه‌ور شد. پس از آن، قارچ‌ها در دمای محیط به‌مدت یک ساعت با هوای آزاد خشک شدند و در انتها رطوبت اضافی آن‌ها با دستمال گرفته شد (Jiang & Li, 2001). قارچ‌ها در کیسه‌های زیپ کیپ پلی‌اتیلنی در سایز ۱۸ در ۱۴ قرار داده شدند و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد یخچال نگهداری شدند.

تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش، به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱- کد تیمارهای مورد مطالعه در پژوهش حاضر

Table 1- Code of treatments studied in current research

تیمار Treatment	کد Code
Chitosan70% decetyled-consentraion0.5% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد	C7-0.5
Chitosan 70% decetyled-consentraion1% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد و غلظت۱ درصد	C7-1
Chitosan 70% decetyled-consentraion2% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد و غلظت ۲ درصد	C7-2
Chitosan80% decetyled-consentraion0.5% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۸۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد	C8-0.5
Chitosan 80% decetyled-consentraion1% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۸۰ درصد و غلظت ۱ درصد	C8-1
Chitosan 80% decetyled-consentraion2% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۸۰ درصد و غلظت ۲ درصد	C8-2
Chitosan90% decetyled-consentraion0.5% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۹۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد	C9-0.5
Chitosan 90% decetyled-consentraion1% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۹۰ درصد و غلظت ۱ درصد	C9-1
Chitosan 90% decetyled-consentraion2% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۹۰ درصد و غلظت ۲ درصد	C9-2
Chitosan100% decetyled-consentraion0.5% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد	C10-0.5
Chitosan 100% decetyled-consentraion1% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد و غلظت ۱ درصد	C10-1
Chitosan 100% decetyled-consentraion2% کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد و غلظت ۲ درصد	C10-2
Control شاهد	CT

اندازه‌گیری افت وزنی

قارچ ها قبل از اعمال هرگونه تغییر اعم از پوشش‌دهی و یا شستشو، وزن‌کشی شدند و از این طریق تا حدودی غربال صورت گرفت. سپس تمامی نمونه‌ها بعد از پوشش‌دهی و خشک شدن وزن‌کشی شدند و این وزن به‌عنوان وزن روز اول یادداشت شد. وزن‌کشی از نمونه‌ها هر سه روز تکرار شد و وزن نمونه‌ها در روزهای اول، سوم، ششم، نهم و دوازدهم یادداشت گردید. به‌منظور محاسبه‌ی تغییرات وزن و اندازه‌گیری درصد افت وزنی، از فرمول (۱) استفاده شد و درصد افت وزن برای هر نمونه به‌صورت جداگانه محاسبه گردید (Sedaghat & Zahedi, 2012). هر نمونه دارای ۳ تکرار برای کاهش خطای آزمون است.

$$weigh\ loss(\%) = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100 \qquad (۱)$$

در این فرمول، w_1 معادل وزن اولیه نمونه و w_2 معادل وزن نمونه بعد از نگهداری است.

ارزیابی رنگ قارچ

برای ارز یابی ر نگ قارچ از دســـتگاه عکس‌برداری اتو ماتیک هانترلب و نرم‌افزار Image J ا ستفاده شد تا میزان فاکتورهای L^*، a^* و b^* بدست آید. سپس با استفاده از فرمول (۲) نمونه‌ها با نمونه شاهد مقایسه شد (Jiang, 2013).

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0)^2 + (a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2} \quad (۲)$$

اندیس قهوه‌ای شدن

اندیس قهوه‌ای شدن، نشان‌دهنده خلوص رنگ قهوه‌ای است و از رابطه (۳) و (۴) بدست آمد (Lin *et al*., 2017):

$$BI = \frac{100 \times (x - 0.31)}{0.172} \quad (۳)$$

$$x = \frac{(a + 1.75L^*)}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)} \quad (۴)$$

تعیین ترکیبات فنلی

برای تعیین ترکیبات فنلی کل، ابتدا ۵ گرم قارچ از هر نمو نه وزن‌کشـــی و با اســـتفاده از ازت مایع در هاون کوبیده شـــد و کاملا به صورت پودر درآمد. در ادامه با ۲۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ در صد ترکیب شد و به‌مدت ۲۴ ساعت روی شیکر با دور rpm۱۶۰ قرار گرفت. پس از ۲۴ سـاعت، تمامی نمونه‌ها با دور ۵۰۰۰ به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق، سـانتریفیوژ شـدند و بعد با اسـتفاده از فیلتر پارچه‌ای جداسـازی صورت گرفت (Lavid *et al*., 2001). مقدار یک میلی‌لیتر از ع صاره با یک میلی‌لیتر واکنشگر فولین سیکالتو ترکیب شد و پس از ۳ دقیقه، یک میلی‌لیتر سدیم کربنات ۷ در صد به آن افزوده شد و پس از آن به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رســـانده شـــد. تمامی نمونه‌ها به‌مدت ۹۰ دقیقه در تاریکی قرار گرفتند و سپس با ا ستفاده از د ستگاه ا سپکتروفتومتر در طول موج ۷۵۰ نانومتر، جذب نمونه‌ها خوانده شد.

فعالیت آنزیمی

به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت آنزیمی، ابتدا از قارچ‌ها عصـــاره‌گیری انجام شـــد، برای این منظور، ۲ گرم قارچ با اســـتفاده از ازت مایع در هاون کوبیده شد و سپس با ۸ میلی‌لیتر محلول بافر سدیم ف سفات و EDTA ترکیب شد (Lin *et al*., 2017).

فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

نمونه ها پس از ســـانتریفیوژ با دور ۵۰۰۰ در مدت ۱۵ دقیقه، با ا ستفاده از فیلتر پارچه‌ای همگن شدند و ق سمت‌های حل ن شده جدا گردید، پس از آن جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۲۰ نانومتر با اســـتفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد (Sun & Song, 2003).

فعالیت آنزیم پراکسیداز

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز، نمونه‌های عصاره‌گیری شده، ابتدا با دور ۵۰۰۰ و به‌مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شدند و سپس به ۵۰ میکرولیتر عصـــاره بافت، ۵ میلی‌مول گایاکول و ۵ میلی‌مول هیدروژن پراکســـید اضـــافه شـــد و جذب در طول موج ۴۷۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد (Hu *et al*., 2015).

ارزیابی بافت

سنجش بافت برای تمام نمونه‌ها در روزهای یک، شش و دوازدهم پوشـش‌دهی با اسـتفاده از دسـتگاه بافت‌سـنج بروکفیلد با اسـتفاده از آزمون نفوذ با پروب اســـتوانه‌ای با قطر ۵ میلی‌متر با ســـرعت یک میلی‌متر بر ثانیه صورت گرفت.

ارزیابی حسی

برای ارزیابی حسی، از آزمون هدونیک ۵ نقطه‌ای استفاده شد و بر اســـاس رنگ قارچ، طعم قارچ، بو و پذیرش کلی امتیازدهی صـــورت گرفت. برای این منظور از ۱۰ نفر ارزیاب عادی در رده سنی ۲۰ تا ۳۰ سال دعوت شد تا در شرایط یک سان، ۱۳ نمونه را مورد ارزیابی خود قرار دهند.

تجزیه و تحلیل آماری

طراحی آزمایشات پژوهش حاضر در قالب طرح کاملا تصادفی و با ســـه تکرار صـــورت پذیرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از تحلیل واریانس دوطرفه و برای مقایســـه میانگین‌ها از روش آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیر پوشش کیتوزان بر افت وزن

قارچ خوراکی دکمه‌ای دارای مقادیر بســـیار زیادی آب بوده و از رطوبت بالایی برخوردار اســـت. از این رو در طول نگهداری قارچ خوراکی امکان از دســـت رفتن آب و رطوبت آن و در پی آن کاهش وزن قارچ وجود دارد که باعث کاهش مطلوبیت محصـــول می‌شـــود. پو شش‌های مورد ا ستفاده برای مح صولات به‌طور منا سبی تا حدودی از این افت وزن و از دســـت رفتن آب و رطوبت ماده‌غذایی جلوگیری می‌نمایند. نمونه شاهد به‌دلیل نداشتن هیچ لایه محافظی در سطح، به سرعت آب خود را از د ست داده و افت وزنی در آن سریع‌تر و بی شتر اتفاق می‌افتد.

در این پژوهش، از ماده‌ی کیتوزان با ۴ درصد استیل‌زدایی و هم‌چنین در ۳ غلظت متفاوت برای قارچ خوراکی استفاده شد و بلافاصله پس از پوشش‌دهی و پس از آن هر ۳ روز، وزن‌کشی قارچ‌های تیمار شده و تیمار نشده صورت گرفت. نتایج حاصل، حاکی از آن بود که اکثر تیمارها در مقایسه با نمونه کنترل، عملکرد خوبی را از خود نشان دادند و از افت وزنی قارچ در طول مدت نگهداری تا حد زیادی جلوگیری کردند اما مقادیر افت وزنی در هیچ‌کدام از تیمارها به‌صورت معنی‌دار نبود. تیمارهای کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۱۰۰ در صد و غلظت ۲ در صد، ۹۰ در صد استیل‌زدایی شده با غلظت ۰/۵ در صد، ۹۰ در صد استیل‌زدایی شده با غلظت ۱ در صد و ۱۰۰ در صد استیل‌زدایی شده با غلظت ۰/۵ در صد بهترین نتیجه را نشان دادند (جدول ۲). اثرات پوشش به‌عنوان یک سد نیمه تراوا در برابر O_2، CO_2، رطوبت و حرکت املاح، در نتیجه کاهش تنفس و از دست دادن آب می‌تواند نتیجه کاهش افت وزنی در نمونه‌های پوشش داده شده باشد. نتایج پژوهش حاضر هم سو با مطالعات صداقت و زاهدی (Sedaghat & Zahedi, 2012) برای پوشش‌دهی قارچ خوراکی با صمغ عربی است. در این مقاله، پوشش‌دهی با صمغ عربی افت وزنی در قارچ خوراکی به‌دلیل افزایش آب‌گریزی و نفوذپذیری پوشش کاهش پیدا کرد و حداقل کاهش وزن مشاهده شد (Sedaghat & Zahedi, 2012).

هم‌چنین رضائیان عطار و همکاران (Rezaiyan Attar *et al.*, 2023) گزارش کردند که پوشش کیتوزانی در میوه پسته افت وزنی را نسبت به نمونه شاهد کاهش داد. مقادیر کمتر کاهش وزن در نمونه‌های پوشش داده شده با کیتوزان ممکن است به‌دلیل ایجاد یک مانع در انتشار مواد باشد. علاوه بر این، غلظت بالای پوشش کیتوزان منجر به ایجاد یک لایه با ضخامت بالا شده و افت وزنی را کاهش می‌دهد (Rezaiyan Attar *et al.*, 2023).

تأثیر پوشش کیتوزان بر رنگ و اندیس قهوه‌ای شدن قارچ خوراکی

یکی از رایج‌ترین مواردی که در قارچ خوراکی دیده می‌شود، قهوه‌ای شدن رنگ آن و از دست رفتن رنگ سفید اولیه قارچ است که این تغییر رنگ به‌دلیل فعالیت آنزیمی در قارچ می‌باشد. تغییر رنگ قارچ از سفید به قهوه‌ای و ایجاد لکه‌های رنگی بر روی آن بازارپسندی محصول را پایین آورده و از کیفیت آن می‌کاهد. پوشش‌های مورد استفاده برای قارچ‌های خوراکی در درجه اول برای جلوگیری بیشتر از قهوه‌ای شدن آنزیمی قارچ و کاهش فعالیت‌های آنزیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تیمارهایی از کیتوزان به‌عنوان پوشش مورد استفاده در این پژوهش، به‌طور مناسبی اندیس قهوه‌ای شدن در قارچ را پایین آوردند و روشنایی قارچ را بیشتر کردند. از بین تیمارهای استفاده شده، بهترین نتیجه را به‌ترتیب تیمارهای کیتوزان ۹۰ درصد دی‌استیله شده با غلظت ۰/۵ در صد، ۹۰ در صد دی‌استیله شده با غلظت ۱ در صد، ۹۰ درصد دی‌استیله شده با غلظت ۲ درصد و ۱۰۰ درصد دی‌استیله شده با غلظت ۲ در صد از خود نشان دادند. نتایج حاصل، قابل مقایسه با الغوث و همکاران (El Ghaouth *et al.*, 1992) در بررسی اثر پوشش کیتوزانی بر گوجه‌فرنگی و کاهش اندیس قهوه‌ای شدن در نمونه‌های پوشش داده شده نسبت به نمونه کنترل می‌باشد (جدول ۳).

جدول ۲- درصد افت وزنی تیمارها

Table 2- Percentage of weight loss of treatments

تیمارها Treatments	روز سوم Day 3	روز ششم Day 6	روز نهم Day 9	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	0.78±0.11^{Hd}	1.08±0.13^{Kc}	1.70±0.20^{Ib}	2.69±0.29^{Ga}
C7-1	1.34±0.16^{Dd}	1.56±0.13^{Ec}	1.86±0.16^{Gb}	2.72±0.20^{Fa}
C7-2	2.90±1.11^{Ad}	3.42±1.4^{Ac}	4.72±1.59^{Ab}	6.59±1.70^{Aa}
C8-0.5	0.76±0.15^{Jd}	1.12±0.19^{Ic}	1.52±0.19^{Jb}	2.31±0.28^{Ia}
C8-1	1.64±0.53^{Cd}	2.09±0.69^{Cc}	2.51±0.52^{Cb}	3.26±0.47^{Ca}
C8-2	2.74±1.06^{Bd}	3.23±1.53^{Bc}	4.06±2.06^{Bb}	4.81±2.58^{Ba}
C9-0.5	0.73±0.12^{Kd}	1.04±0.22^{Lc}	1.36±0.24^{Lb}	1.91±0.14^{Ka}
C9-1	0.82±0.25^{Gd}	1.24±0.33^{Hc}	1.89±0.44^{Fb}	2.74±0.60^{Ea}
C9-2	1.09±0.46^{Fd}	1.70±0.75^{Dc}	2.09±0.64^{Db}	3.12±0.75^{Da}
C10-0.5	0.62±0.07^{Ld}	1.10±0.06^{Jc}	1.50±0.06^{Kb}	2.14±0.30^{Ja}
C10-1	1.11±0.44^{Ed}	1.44±0.42^{Fc}	1.96±0.84^{Eb}	2.69±1.30^{Ga}
C10-2	0.77±0.28^{Id}	1.03±0.36^{Mc}	1.36±0.45^{Lb}	1.88±0.80^{La}
CT	0.76±0.07^{Jd}	1.31±0.11^{Gc}	1.80±0.21^{Hb}	2.42±0.20^{Ha}

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و هم‌چنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

تعیین ترکیبات فنلی کل

تغییرات میزان ترکیبات فنلی کل در طی نگهداری قارچ خوراکی در مدت زمان پو شش دهی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شـد. قبل از نمونه‌ی شـاهد، تیمارهای دی‌اسـتیل شـده ۷۰ دصـد با غلظت ۱ در صد و کیتوزان دی‌ا ستیل شده ۷۰ در صد با غلظت ۰/۵ درصد، بیشترین حفظ ترکیبات فنلی کل را نشان دادند و از کاهش و از دست رفتن ترکیبات فنلی جلوگیری کردند (جدول ۴).

به‌دلیل اینکه ترکیبات فنلی در رنگ قهوه‌ای ایجاد شـده در قارچ مؤثر هستند، هر چه میزان ترکیبات فنلی بالاتر با شد، میزان قهوه‌ای شدن در آن کمتر خواهد بود، از این رو می‌توان ذکر کرد که ترکیبات فنلی یک عامل محدود کننده برای تغییر رنگ به حســاب می‌آیند. قا سم‌نژاد و همکاران (Ghasemnezhad *et al.*, 2010) به برر سی اثر پو شش کیتوزان بر میوه زردآلو پرداختند که نتایج به‌د ست آمده در این پژوهش نیز حاکی از حفظ ترکیبات فنلی در تیمارهای پوشـــش داده شده با کیتوزان بوده است (Ghasemnezhad *et al.*, 2010).

جدول ۳- تفاوت اندیس قهوه‌ای شدن تیمارها در طول مدت نگهداری

Table 3- difference of browning index of treatments

تیمارها Treatments	روز اول Day 1	روز ششم Day 6	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	87.99±0.1[Kc]	112.94±0.1[Eb]	115.61±0.1[Fa]
C7-1	93.657±0.1[Ic]	104.02±0.1[Gb]	115.02±0.1[Ga]
C7-2	106.89±0.1[Fc]	124.35±0.1[Ab]	147.48±0.1[Aa]
C8-0.5	87.63±0.1[Ac]	92.32±0.1[Lb]	93.58±0.1[La]
C8-1	101.38±0.1[Gc]	116.19±0.1[Bb]	138.15±0.1[Ba]
C8-2	84.44±0.1[Ca]	100.15±0.08[Ib]	124.33±0.1[Da]
C9-0.5	79.17±0.1[Db]	78.72±0.1[Dc]	85.47±0.1[Ca]
C9-1	69.82±0.1[Fc]	87.89±0.1[Mb]	110.11±0.1[Ia]
C9-2	99.39±0.1[Hc]	102.61±0.1[Hb]	111.84±0.1[Ha]
C10-0.5	71.33±0.1[Ec]	79.25±0.1[Cb]	83.80±0.1[Ea]
C10-1	93.21±0.1[Jc]	107.99±0.1[Fb]	130.34±0.1[Ca]
C10-2	86.05±0.1[Bc]	92.84±0.1[Kb]	104.60±0.1[Ka]
CT	87.81±0.1[Lc]	93.79±0.1[Jb]	108.86±0.10[Ja]

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و هم‌چنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

جدول ٤- مقادیر فنل کل در روزهای مختلف نگهداری ($U.g^{-1}$)

Table 4- Amounts of total phenol on different days of storage ($U.g^{-1}$)

تیمارها Treatments	روز اول Day 1	روز ششم Day 6	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	0.41±0.008[cM]	0.51±0.0055[aC]	0.45±0.0055[bEF]
C7-1	0.44±0.002[bL]	0.23±0.002[cD]	0.63±0.0015[aA]
C7-2	0.49±0.0055[bGH]	0.82±0.018[baB]	0.40±0.0115[cI]
C8-0.5	0.58±0.005[bC]	0.91±0.053[aA]	0.43±0.0045[cFG]
C8-1	0.47±0.0045[aJK]	0.23±0.003[bD]	0.48±0.003[aC]
C8-2	0.51±0.003[aFG]	0.23±0.01[cD]	0.44±0.0095[bEFG]
C9-0.5	0.48±0.0015[aHIJ]	0.17±0.0015[cEF]	0.46±0.007[bDE]
C9-1	0.53±0.003[aE]	0.16±0.001[cF]	0.44±0.0015[bEFG]
C9-2	0.60±0.0025[aB]	0.084±0.0035[cH]	0.41±0.0025[bHI]
C10-0.5	0.49±0.0015[aHI]	0.11±0.002[cG]	0.45±0.003[bEF]
C10-1	0.53±0.0025[aE]	0.16±0.0015[cF]	0.42±0.0015[bGH]
C10-2	0.69±0.004[aA]	0.18±0.008[cE]	0.43±0.001[bFG]
CT	0.55±0.0055[aD]	0.11±0.0015[bG]	0.56±0.0005[aB]

حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و هم‌چنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

تأثیر پوشش کیتوزان بر فعالیت آنزیمی در قارچ خوراکی

اکسیداسیون فنلی در نتیجه‌ی فعالیت آنزیم تیروزیناز و اکسیداسیون مونوفنل‌ها به اکسی‌دی‌فنل‌ها و سپس اکسیداسیون آن‌ها به فرم کینون و در نهایت پلیمریزه شدن خود به خودی و تولید پیگمان‌های سیاه، قرمز یا قهوه‌ای رخ می‌دهد. علاوه بر این موضوع، در نتیجه‌ی پیری، غشاهای سلولی پاره شده و آنزیم و سوبسترا فرصت ترکیب شدن با یکدیگر را پیدا می‌کنند و در نهایت قهوه‌ای شدن رخ می‌دهد (Ares *et al.*, 2006).

تأثیر پوشش کیتوزان بر فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز

غیرفعال‌سازی آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز که آنزیم اصلی مسئول قهوه‌ای شدن آنزیمی در قارچ است، با استفاده از حرارت یا استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها یا مهارکننده‌های آنزیم برای جلوگیری از قهوه‌ای شدن آنزیمی و افزایش ماندگاری قارچ برای استفاده‌های تجاری از آن، بسیار ضروری است (Luo & Barbosa-Canovas, 1996; Zhang & Flurkey, 1997). از آنجایی که هر چه مقادیر آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در قارچ بالاتر باشد، اندیس قهوه‌ای شدن نیز بالاتر می‌رود، اگر بتوان این روند را کنترل کرد، قهوه‌ای شدن قارچ کاهش پیدا خواهد کرد. بهترین نتیجه از تیمار پوشش داده شده با کیتوزان استیل‌زدایی شده با درصد ۹۰ و غلظت ۲ درصد، پس از آن تیمار پوشش داده شده با کیتوزان ۱۰۰ درصد دی‌استیله شده با غلظت ۰/۵ درصد و تیمار پوشش داده شده با کیتوزان ۱۰۰ درصد دی‌استیله شده با غلظت ۱ درصد حاصل شد (جدول ۵). نتایج پژوهش حاضر همسو با نتایج جیانگ و همکاران (Jiang *et al.*, 2005) می‌باشد. در این مطالعه گزارش شده است که فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسیداز در تیمار پوشش داده شده با کیتوزان نسبت به نمونه کنترل کمتر است واین پوشش در میوه لیچی توانسته است فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز را کنترل کند (Jiang *et al.*, 2005).

تأثیر پوشش کیتوزان بر فعالیت آنزیم پراکسیداز

افزایش پراکسیداز نشان‌دهنده کاهش کیفیت ماده‌ی غذایی است. این آنزیم مسئول تغییرات مختلفی در ترکیبات شیمیایی است، به‌طوری‌که می‌تواند بر خصوصیات کیفی و فساد قارچ تأثیر بگذارد. آنزیم پراکسیداز همچنین می‌تواند بر عطر و طعم محصول اثر بگذارد و سبب افت کیفیت خوراکی و تغذیه‌ای قارچ گردد (Fasidi & Kadiri, 1991). به همین دلیل غیرفعال کردن یا کاهش فعالیت پراکسیداز مورد توجه قرار گرفته است. به‌طور کلی پوشش‌های خوراکی با تشکیل یک مانع حفاظت‌کننده بر سطح محصول تازه، باعث کاهش دسترسی به اکسیژن گردیده و فساد و چروکیده شدن را به تعویق می‌اندازد و سرعت آن‌را آهسته‌تر می‌کند. قهوه‌ای شدن‌های آنزیمی بیشتر ناشی از آنزیم‌هایی مانند پراکسیداز است. ارتباط POD با قهوه‌ای شدن آنزیمی و دفاع آنتی‌اکسیدانی توسط تحقیقات قبلی آشکار شده است. افزایش پراکسیداز نشانه‌ای از کاهش کیفیت محصول است و به فرآیند قهوه‌ای شدن آنزیمی مربوط می‌شود (Lin *et al.*, 2017).

جدول ۵- مقدار آنزیم پلی فنل اکسیداز در طول مدت نگهداری ($U.mg^{-1}$protein)

Table 5- The amount of polyphenol oxidase enzyme during the storage period ($U.mg^{-1}$protein)

تیمارها Treatments	روز سوم Day 3	روز ششم Day 6	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	0.65 ± 0.0155^{cG}	1.64 ± 0.0025^{aB}	1.05 ± 0.001^{bF}
C7-1	0.81 ± 0.028^{cE}	0.92 ± 0.002^{aJ}	0.84 ± 0.009^{bH}
C7-2	0.58 ± 0.002^{cH}	1.35 ± 0.011^{bE}	1.90 ± 0.0045^{aA}
C8-0.5	0.85 ± 0.0025^{cD}	1.75 ± 0.0105^{aA}	1.04 ± 0.024^{bF}
C8-1	0.59 ± 0.019^{cH}	1.00 ± 0.0015^{bH}	1.25 ± 0.002^{aC}
C8-2	0.46 ± 0.001^{cI}	1.17 ± 0.0035^{aF}	1.10 ± 0.0095^{bE}
C9-0.5	0.66 ± 0.0115^{cG}	0.93 ± 0.008^{aIJ}	0.84 ± 0.006^{bHI}
C9-1	0.89 ± 0.001^{cC}	1.14 ± 0.004^{bG}	1.18 ± 0.0015^{aD}
C9-2	0.74 ± 0.001^{bF}	1.18 ± 0.026^{aF}	0.67 ± 0.0235^{cJ}
C10-0.5	1.06 ± 0.0095^{bB}	1.61 ± 0.0045^{aC}	1.04 ± 0.0255^{bF}
C10-1	1.21 ± 0.0395^{bA}	1.60 ± 0.007^{aC}	0.95 ± 0.006^{cG}
C10-2	0.82 ± 0.001^{cE}	1.38 ± 0.001^{bD}	1.57 ± 0.003^{aB}
CT	0.85 ± 0.0035^{bD}	1.15 ± 0.0005^{aFG}	1.18 ± 0.015^{aD}

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و همچنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

جدول ٦- مقادیر آنزیم پراکسیداز در طی مدت نگهداری ($U.mg^{-1}$protein)

Table 6- Peroxidase enzyme levels during the storage period ($U.mg^{-1}$protein)

تیمارها Treatments	روز اول Day 1	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	1.03±0.0325[aDE]	0.80±0.0015[bI]
C7-1	0.57±0.0065[bI]	0.87±0.01[aH]
C7-2	0.87±0.0435[aF]	0.67±0.0015[bJ]
C8-0.5	0.65±0.1005[bH]	1.04±0.0015[aF]
C8-1	0.51±0.001[bJ]	0.99±0.0005[aG]
C8-2	0.88±0.0015[bF]	1.23±0.0045[aD]
C9-0.5	1.17±0.049[bB]	1.25±0.002[aD]
C9-1	0.70±0.0225[bH]	1.36±0.002[aC]
C9-2	0.52±0.0095[bJ]	0.87±0.001[aH]
C10-0.5	0.79±0.0435[bG]	1.40±0.0065[aB]
C10-1	1.08±0.05[bC]	1.68±0.011[aA]
C10-2	0.91±0.035[bF]	1.12±0.008[aE]
CT	1.41±0.002[aA]	1.39±0.0015[aBC]

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و هم‌چنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

هر چه آنزیم پراکسیداز در روز دوازدهم کمتر از روز اول باشد، نتیجه بهتری حا صل می شود. تیمار پو شش داده شده با کیتوزان ۷۰ درصد و غلظت ۰/۵ درصد در درجه اول بهترین عملکرد را داشته، پس از آن تیمار پو شش داده شده با کیتوزان ۷۰ در صد با غلظت ۲ در صد، میزان آنزیم پراکسیداز را در قارچ‌ها کاهش داد. نمونه‌ی شاهد اختلاف معنی‌داری در روز اول و روز دوازدهم نشان نداد (جدول ۶). در مطالعه‌ی صورت گرفته توسط یووی و همکاران (Youwei & Yinzhe, 2013)، پوشش‌دهی انگور با کیتوزان، توانسته است فعالیت آنزیم پراکسیداز را در محصول تا حد مناسبی کنترل نماید (Youwei & Yinzhe, 2013). نتایج این پژوهش قابل مقایسه با پژوهش حاضر می‌باشد که نشان‌دهنده کنترل و حفظ بیشتر آنزیم پراکسیداز در تیمار پوشش داده شده نسبت به نمونه شاهد بوده است.

تأثیر پوشش کیتوزان بر بافت و سفتی قارچ خوراکی

بافت یکی از مهم‌ترین فاکتورهای اندازه‌گیری کیفیت در محصولات است. برای قارچ خوراکی دکمه‌ای نیز بافت یکی از اساسی‌ترین ملاک‌های ارزیابی می‌باشد و نشان‌دهنده‌ی تغییرات متابولیکی در قارچ می‌باشد (Gao *et al.*, 2014).

سفتی بافت

یکی از اهداف پو شش‌دهی قارچ خوراکی، حفظ حالت‌های اولیه‌ی بافت قارچ می‌با شد. سفتی بافت قارچ با د ستگاه بافت سنج در طی ۱۲ روز اندازه‌گیری شد و میزان سفتی قارچ در روزهای اول، ششم و دوازدهم با نمونه شاهد مورد مقایسه قرار گرفت. از دست رفتن سفتی و سختی اولیه‌ی قارچ در نمونه شاهد در طی ۱۲ روز با اختلاف زیادی از روز اول مشاهده شد. تیمارهای پوشش‌دهی شده اکثرا در حفظ سفتی بافت، بهتر عمل کرده و توانستند حالت‌های بافتی را تا حدودی در طی مدت نگهداری حفظ کنند. تفاوت سختی بافت در تیمار پو شش‌دهی شده با کیتوزان ۷۰ در صد ا ستیل‌زدایی شده با غلظت ۲ در صد بهترین عملکرد را بین تیمارها نشان داد و تفاوت معناداری بین سختی بافت در روز اول و روز ششم و روز دوازدهم وجود نداشت. پس از آن، تیمار کیتوزان با درجه استیل‌زدایی ۷۰ درصد با غلظت ۰/۵ در صد نیز نتایج تقریبا قابل قبولی دا شت، در این تیمار، میزان سفتی قارچ در روز ش شم بی شتر از روز اول بود اما تا روز دوازدهم این مقدار کاهش پیدا کرد و تقریبا به میزان سفتی روز اول نزدیک شد و تفاوت معنی‌داری بین سفتی بافت در روز اول و روز دوازدهم مشاهده نشد (جدول ۷). صداقت و همکاران (Sedaghat & Zahedi, 2012)، در مطالعه‌ای، قارچ خوراکی را با امولسیون صمغ عربی پوشش دادند و نتیجه حاصل را چنین گزارش کردند که در طول نگهداری قارچ، در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد، در ۴ روز اول سختی افزایش پیدا کرد و رسیدگی قارچ پس از آن باعث از دست دادن سفتی شد، میزان از دست دادن سفتی قارچ در تیمارهای بدون پوشش ۳۹ درصد و در تیمارهای پوشش داده شده ۲۱ درصد بوده است (Sedaghat & Zahedi, 2012).

رضائیان عطار و همکاران (Rezaiyan Attar *et al.*, 2023) نیز در مطالعه‌ای به بررسی اثر پو شش کیتوزان بر میوه پسته پرداختند که نتایج حاصل، نشان‌دهنده تأثیر این پوشش بر حفظ سفتی بافت محصول در طول نگهداری بوده است.

جدول ۷- میزان سفتی بافت در روزهای متفاوت آزمایش (g)

Table 7- The degree of hardness on different days of the test (g)

تیمارها Treatments	روز اول Day 1	روز ششم Day 6	روز دوازدهم Day 12
C7-0.5	2092±732^{Hab}	2390±39^{FGa}	1403±294^{EFGHb}
C7-1	3888.5±605.5^{BCa}	3009.5±1.5^{BEFb}	1759±61^{DEFc}
C7-2	3097±191^{DGa}	2413±398^{EFGa}	2696±593^{ABCa}
C8-0.5	2890±751^{DFGa}	2868±349^{CEFa}	1165.5±151.5^{FGHb}
C8-1	3816.5±662.5^{BCDa}	2960.5±412.5^{CEFb}	1217±192^{FGHc}
C8-2	3607.5±78.5^{CDEa}	3364±854^{ABa}	2300±355^{BCDb}
C9-0.5	3200±750^{CDEFa}	2550±78^{CEFa}	873±77^{Hb}
C9-1	3315±346^{CDEa}	2438±144^{EFGb}	1193. 5±445.5^{FGHc}
C9-2	3920.5±425.5^{BCa}	3572.5±232.5^{ABa}	1654±612^{DEFGb}
C10-0.5	3793.5±73.5^{BCDa}	2556.5±66.5^{CEFb}	1315.5±45.5^{FGHc}
C10-1	4501±241^{ABa}	2815.5±48.5^{CEFb}	2059±44^{CDEc}
C10-2	3714±172^{CDEa}	3176±147^{BDEa}	999.5±378.5^{GHb}
CT	4680±377^{Aa}	2836.5±529.5^{DEFb}	1294.5±80.5^{FGHc}

* حروف کوچک مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر سطر و حروف بزرگ مربوط به مقایسه میانگین‌ها در هر ستون می‌باشند و هم‌چنین حروف غیریکسان در هر ردیف و ستون به معنای تفاوت معنی‌دار است.

* Small letters are related to the comparison of averages in each row and capital letters are related to the comparison of averages in each column, and different letters in each row and column mean a significant difference.

کاهش تعرق و بهبود احتباس آب، پس از اعمال پو شش کیتوزان، باعث حفظ رطوبت و در پی آن، بافت محصول می شود. یکی دیگر از دلایل تأخیر نرم شـــدن ممکن اســـت کاهش نرخ تنفس میوه‌های پوشش داده شده با کیتوزان باشد (Rezaiyan Attar *et al*., 2023).

آزمون حسی

در ارزیابی رنگ قارچ‌های تسـت شـده در آزمون حسـی، بهترین رنگ از نظر ارزیاب‌ها متعلق به تیمار کیتوزان با درجه ا ستیل‌زدایی ۹۰ درصـــد با غلظت یک درصـــد بود و پس از آن تیمار کیتوزان با استیل‌زدایی ۱۰۰ درصد با غلظت ۰/۵ درصد بالاترین نمره را در تست هدونیک دریافت کرد. بین تیمارهای کیتوزان با درجه اســتیل‌زدایی ۱۰۰ درصـــد و غلظت ۰/۵ درصـــد با تیمارهای کیتوزان با درجه ا ستیل‌زدایی ۸۰ در صد با غلظت ۰/۵ در صد، ۱۰۰ در صد با غلظت ۲ درصد و شاهد تفاوت معنی‌دار نیست. به‌طور کلی از نظر رنگ، بهترین نتیجه را تیمار پوشـــش داده شـــده با کیتوزان ۹۰ درصـــد و غلظت ۱ در صد دا شت. از لحاظ طعم، تمامی تیمارهای پو شش داده شده نمره قابل قبولی از ارزیاب‌ها دریافت کرد، با اختلاف زیادی طعم تیمارهای پوشش داده شده با کیتوزان از نمونه‌ی شاهد بهتر و مورد قبول‌تر برای ارز یاب ها بود. نتایج ارز یابی حســـی بو، برای تمامی نمو نه ها تقریبا یک سان بود و تفاوت معنی‌داری بین آنها وجود ندا شت به جز نمونه‌ی پو شش داده شده با کیتوزان ۷۰ در صد ا ستیل‌زدایی شده با غلظت ۲ درصـد که از درجه پذیرش کمتری برخوردار بود. از ارزیاب‌ها خواسـته شد تا به هر نمونه به‌طور کلی امتیاز دهند و درجه پذیرش کلی خود را اعلام کنند. بهترین نمونه از نظر ارزیاب‌ها، تیمار پوشـش داده شـده با کیتوزان ۹۰ در صد ا ستیل‌زدایی شده با غلظت یک در صد بود و این تیمار با تیمارهای پوشـش داده شـده با کیتوزان اسـتیل‌زدایی شـده با در صد های ۸۰ با غلظت ۰/۵ در صد و ۱۰۰در صد با غلظت ۰/۵ در صد تفاوت معنی‌داری نداشـــت. به مراتب بقیه تیمارها نمره‌های کمتری دریافت کردند. به‌طور کلی بهترین نتیجه در آزمون حســـی از تیمار پو شش داده شده با کیتوزان ۹۰ در صد با غلظت ۱ در صد دریافت شد (جدول ۸). نتایج حا صل، موافق نظر چن و همکاران (Chien *et al*., 2007) بوده است، چنان‌که پوشش کیتوزان توانسته است طعم و مزه، ویژگی‌های حســـی و رنگ انبه را در طول مدت نگهداری حفظ کند و قهوه‌ای شدن را به تأخیر بیاندازد (Chien *et al*., 2007).

نتیجه‌گیری

فســـاد قارچ خوراکی در طول مدت زمان کوتاهی اتفاق می‌افتد و نگهداری از قارچ در مدت ز مان طولانی‌تر به یکی از موارد مهم در تولید قارچ تبدیل شـــده اســـت. پوشـــش‌دهی قارچ خوراکی یکی از روش‌های مناسـب جهت افزایش زمان ماندگاری قارچ خوراکی اسـت. در این پژوهش از کیتوزان با چهار درجه اســـتیل‌زدایی ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ در صد با سه غلظت (۰/۵، ۱ و ۲ در صد) به‌عنوان پو شش قارچ خوراکی ا ستفاده شد. نتایج حا صل حاکی از آن بود که تمام تیمارهای پو شش‌دهی کیتوزان توانستند موجب تأخیر در بروز فساد و تغییر رنگ یا بافت آن شـــوند. بهترین تیمار، کیتوزان با درجه اســـتیل‌زدایی ۷۰ درصد در حفظ مقادیر فنل کل، کنترل فعالیت آنزیم پراکسیداز و میزان

سفتی قارچ در طول نگهداری بوده است، در کنترل افت وزنی، فعالیت آنزیم پلی‌فنل اکسـیداز و آزمون حسـی، تیمار کیتوزان با در جه ا ستیل‌زدایی ۱۰۰ در صد و ۹۰ در صد نتیجه بهتری دا شتند و از نظر اندیس قهوه‌ای شدن و بافت، تیمار کیتوزان با درجه ا ستیل‌زدایی ۸۰ درصـد عملکرد مناسـب‌تری از خود نشـان داده اسـت. به‌دلیل تفاوت عملکردی انواع پوشش‌های استفاده شده، پیشنهاد می‌شود که با توجه به نیاز، از یکی از انواع پوشـش‌دهی اسـتفاده شـود، چنان‌که برای مواردی که رنگ و بافت قارچ‌خوراکی بیشتر مدنظر باشد، بهتر است از تیمار کیتوزان با درجه ا ستیل‌زدایی ۸۰ در صد ا ستفاده گردد و چنانچه مواردی هم‌چون کنترل وزن یا موارد حسی مورد نظر باشد، بهتر است از تیمارهای ۹۰ و ۱۰۰ در صد ا ستیل‌زدایی شده ا ستفاده شود. به‌دلیل خواص ضـدمیکروبی بسـیار قوی کیتوزان، پیشـنهاد می‌شـود که بار میکروبی قارچ‌خوراکی دکمه‌ای پوشـش داده شـده، بررسـی شـود، هم‌چنین دیگر فاکتورهای بافتی قارچ، مثل خاصـیت صـمغینگی، خاصیت چسبندگی و انسجام نیز می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

میزان مشارکت

هدی قربانزاده: تحقیق و بررسی، مدیریت داده‌ها، نرم‌افزار، نوشتن- پیش‌نویس اصلی؛ **جعفر محمد زاده میلانی:** مفهوم‌سازی، تأمین مالی، مدیریت پروژه، منابع، نظارت، نوشتن- بررسی و ویرایش، **علی معتمدزادگان:** نظارت، نوشتن- بررسی و ویرایش

منابع تأمین مالی

این تحقیق در قالب پایان‌نامه‌کارشناسی ارشد توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری از حمایت مالی برخوردار گردید.

جدول ۸- ارزیابی حسی بر اساس طعم و مزه، رنگ، بو و پذیرش کلی

Table 8- Sensory evaluation based on taste, color, odor and total acceptability

تیمارها Treatments	رنگ Color	مزه Flavor	بو Smell	پذیرش کلی Total Acceptability
C7-0.5	2.6±1.07^{ED}	4.8±0.42^{A}	4.9±0.31^{A}	3.6±0.69^{EF}
C7-1	3.1±0.73^{DC}	4.9±0.31^{A}	4.7±0.48^{A}	4.1±0.56^{CDE}
C7-2	2±0.81^{E}	4.7±0.48^{A}	4.2±1.03^{B}	3.3±0.48^{F}
C8-0.5	4±0.47^{BC}	4.9±0.31^{AB}	4.9±0.31^{A}	4.6±0.51^{ABC}
C8-1	3.2±0.63^{DC}	4.9±0.31^{A}	4.8±0.63^{A}	4±0.47^{DE}
C8-2	2.8±1.13^{ED}	4.8±0.42^{A}	4.7±0.48^{A}	3.9±0.73^{DE}
C9-0.5	3.3±1.15^{DC}	4.9±0.31^{A}	4.9±0.31^{A}	4.2±0.632^{BCD}
C9-1	4.9±0.31^{A}	4.9±0.31^{A}	4.9±0.31^{A}	4.9±0.31^{A}
C9-2	3.2±1.13^{DC}	4.9±0.31^{A}	4.5±0.97^{AB}	4.1±0.73^{CDE}
C10-0.5	4.6±0.69^{AB}	4.9±0.31^{A}	4.9±0.31^{A}	4.7±0.48^{AB}
C10-1	3.4±1.17^{DC}	4.9±0.31^{A}	4.9±0.31^{A}	4.2±0.63^{BCD}
C10-2	3.8±0.63^{BC}	4.9±0.31^{A}	4.7±0.48^{A}	4.2±0.42^{BCD}
CT	3.8±0.91^{BC}	4.4±0.69^{B}	4.9±0.31^{A}	4.3±0.67^{BCD}

*حروف غیر یکسان در هر ستون به معنای تفاوت معنادار می‌باشد.

* Different letters in each column mean a significant difference.

References

1. Ares, G., Carina P., Gámbaro, A., Lareo C., & Lema, P. (2006). Sensory shelf life of shiitake mushrooms stored under passive modified atmosphere. *Postharvest Biology and Technology*, *41*, 191-97. https://doi.org/10.3390/ijms22147449
2. Beaulieu, M., Aprano, G.D., & Lacroix, M. (2002). Effect of dose rate of gamma irradiation on biochemical quality and browning of mushrooms *Agaricus bisporus*. *Radiation Physics and Chemistry*, *63*, 311-15. https://doi.org/10.1016/S0969-806X(01)00518-7
3. Bozena, M., Kala, K., Rojowski, J., Grzywacz, A., & Opoka, W. (2017). Composition and biological properties of *Agaricus bisporus* fruiting bodies-a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, *67*. https://doi.org/10.1515/pjfns-2016-0032
4. Chien, P.J., Sheu, F., & Yang, F.H. (2007). Effects of edible chitosan coating on quality and shelf life of sliced mango fruit. *Journal of Food Engineering*, *78*(1), 225-229. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.022
5. Cristina, A., Davidescu, C.M., Nemeş, N.S., Negrea, A., Ciopec, M., Duteanu, N., Negrea, P., Duda-Seiman, D., & Musta, V. (2021). Factors influencing the antibacterial activity of chitosan and chitosan modified by functionalization. *International Journal of Molecular Sciences*, *22*, 7449. https://doi.org/10.3390/ijms22147449
6. El Ghaouth, A., Ponnampalam, R., Castaigne, F., & Arul, J. (1992). Chitosan coating to extend the storage life of tomatoes. *HortScience*, *27*(9), 1016-1018. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.9.1016

7. Eliezer, L., Villalobos-Carvajal, R., Reyes-Parra, J., Jara-Quijada, E., Ruiz, C., Andrades, P., Gacitúa, J., & Beldarraín-Iznaga, T. (2021). Preservation of mushrooms (*Agaricus bisporus*) by an alginate-based-coating containing a cinnamaldehyde essential oil nanoemulsion. *Food Packaging and Shelf Life*, *28*, 100662. https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100662
8. Fasidi, I.O., & Kadiri, M. (1991). Changes in enzyme activities of *Termitomyces robustus* (Beli) Heim and *Lentinus subnudus* Berk during sporophore development. *Food Chemistry*, *39*, 109-16. https://doi.org/10.1016/0308-8146(91)90089-7
9. Gantner, M., Dominika, G., Pogorzelska, E., Brodowska, M., Wojtasik-Kalinowska, I., & Godziszewska, J. (2017). The effect of film type and modified atmosphere packaging with different initial gas composition on the shelf life of white mushrooms (*Agaricus bisporus* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*, e13083. https://doi.org/10.1111/jfpp.13083
10. Ghasemi-Varnamkhasti, M., Mohammad-Razdari, A., Yoosefian, S.H., & Izadi, Z. (2018). Effects of the combination of gamma irradiation and Ag nanoparticles polyethylene films on the quality of fresh bottom mushroom (*Agaricus bisporus* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, *42*, e13652. https://doi.org/10.1111/jfpp.13652
11. Ghasemnezhad, M., Shiri, M.A., & Sanavi, M. (2010). Effect of chitosan coatings on some quality indices of apricot (*Prunus armeniaca* L.) during cold storage. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, *8*(1), 25-33.
12. Hong Kyoon, N., Young Park, N., Lee, S.H., & Meyers S.P. (2002). Antibacterial activity of chitosans and chitosan oligomers with different molecular weights. *International Journal of Food Microbiology*, *74*, 65-72. https://doi.org/10.1177/1082013211433075
13. Jiang, Y., Li, J., & Jiang, W. (2005). Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. *LWT-food Science and Technology*, *38*(7), 757-761. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.09.004
14. Jing, L., Li, B., Zhang, N., Yan, R., Guan, W., Brennan, C.S., Gao, H., & Peng, B. (2018). Effects of UV-C treatment on browning and the expression of polyphenol oxidase (PPO) genes in different tissues of *Agaricus bisporus* during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*, *139*, 99-105. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.11.022
15. Kompal, J., Warby, J., Valverde, J., Tiwari, B., Cullen, P.J., & Frias, J.M. (2018). Impact of cold chain and product variability on quality attributes of modified atmosphere packed mushrooms (*Agaricus bisporus*) throughout distribution. *Journal of Food Engineering*, *232*, 44-55. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.03.019
16. Luo, Y., & Barbosa-Canovas, GV. (1996). Preservation of apple slices using ascorbic acid and 4-hexylresorcinol/Preservación de rodaj as de manzana con ácido ascórbico y 4-hexilresorcinol', *Food Science and Technology International*, *2*, 315-21. https://doi.org/10.1177/108201329600200505
17. Mengsha, G., Feng, L., & Jiang, T. (2014). Browning inhibition and quality preservation of button mushroom (*Agaricus bisporus*) by essential oils fumigation treatment. *Food Chemistry*, *149*, 107-13. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.073
18. Nasiri, M., Barzegar, M., Sahari, M.A., & Niakousari, M. (2018). Application of Tragacanth gum impregnated with Satureja khuzistanica essential oil as a natural coating for enhancement of postharvest quality and shelf life of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *International Journal of Biological Macromolecules*, *106*, 218-26. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.08.003
19. Noa, L., Barkay, Z., & Tel-Or, E. (2001). Accumulation of heavy metals in epidermal glands of the waterlily (Nymphaeaceae). *Planta*, *212*,313-22. https://doi.org/10.1007/s004250000399
20. Pavel, K. (2013). A review of chemical composition and nutritional value of wild-growing and cultivated mushrooms. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *93*, 209-18. https://doi.org/10.1002/jsfa.5960
21. Qiong, L., Lu, Y., Zhang, J., Liu, W., Guan, W., & Wang, Z. (2017). Effects of high CO_2 in-package treatment on flavor, quality and antioxidant activity of button mushroom (*Agaricus bisporus*) during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, *123*, 112-18. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.09.006
22. Rezaiyan Attar, F. (2022). Modeling the respiration rate of chitosan coated fresh in-hull pistachios (*Pistacia vera* L. cv. Badami) for modified atmosphere packaging design. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *16*(2), 1049-1061. https://doi.org/10.1007/s11694-021-01235-8
23. Rezaiyan Attar, F. (2023). Modified atmosphere packaging with chitosan coating to prevent deterioration of fresh in-hull Badami's pistachio fruit. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, *10*(1), 1-18. https://doi.org/10.1186/s40538-023-00393-9
24. Sedaghat, N., & Zahedi, Y. (2012). Application of edible coating and acidic washing for extending the storage life of mushrooms (*Agaricus bisporus*). *Food Science and Technology International*, *18*, 523-30. https://doi.org/10.1177/1082013211433075
25. Sudarshan, N.R., Hoover, D.G., & Knorr, D. (1992). Antibacterial action of chitosan. *Food Biotechnology*, *6*, 257-72. https://doi.org/10.1080/08905439209549838

26. Sun, N.K., & Song, K.B. (2003). Effect of nonthermal treatment on the molecular properties of mushroom polyphenoloxidase. *Journal of Food Science*, *68*, 1639-43. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb12305.x
27. Tianjia, J. (2013). Effect of alginate coating on physicochemical and sensory qualities of button mushrooms (*Agaricus bisporus*) under a high oxygen modified atmosphere', *Postharvest Biology and Technology*, *76*, 91-97. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.09.005
28. Tianjia, J., Luo, Z., & Ying, T. (2015). Fumigation with essential oils improves sensory quality and enhanced antioxidant ability of shiitake mushroom (*Lentinus edodes*). *Food Chemistry*, *172*, 692-98. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.130
29. Usman, M., Ghulam M., & Allah, D. (2021). Nutritional, medicinal, and cosmetic value of bioactive compounds in button mushroom (*Agaricus bisporus*): a review. *Applied Sciences*, *11*, 5943. https://doi.org/10.3390/app11135943
30. Weijn, A., Tomassen, M.M.M., Bastiaan-Net, S., Eahj Hendrix, J.J.P., Baars, A.S.M., Sonnenberg, H.J., Wichers, & Mes, J.J. (2011). *Browning sensitivity of button mushrooms*. In Proceedings of the 7th international conference on mushroom biology and mushroom products, 203-11.
31. Win, N., Kyu Kyu, P., Jitareerat, S., Kanlayanarat, & Sangchote, S. (2007). Effects of cinnamon extract, chitosan coating, hot water treatment and their combinations on crown rot disease and quality of banana fruit. *Postharvest Biology and Technology*, *45*, 333-40. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.01.020
32. Xinling, W., Guan, W., Yan, R., Lei, J., Xu, L., & Wang, Z. (2016). Effects of UV-C on antioxidant activity, total phenolics and main phenolic compounds of the melanin biosynthesis pathway in different tissues of button mushroom. *Postharvest Biology and Technology*, *118*, 51-58. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.03.017
33. Xu, Y.X., Myong Kim, K., Hanna, M.A., & Nag, D. (2005). Chitosan–starch composite film: preparation and characterization. *Industrial Crops and Products*, *21*, 185-92. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2004.03.002
34. Xiaohui, L., & Sun, D.W. (2019). Research advances in browning of button mushroom (*Agaricus bisporus*): Affecting factors and controlling methods. *Trends in Food Science & Technology*, *90*, 63-75. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.05.007
35. Yong-Hua, H., Chen, C.M., Xu, L., Cui, Y., Yu, X.Y., Gao, H.J., Wang, Q., Liu, K., Shi, Y., & Chen, Q.X. (2015). Postharvest application of 4-methoxy cinnamic acid for extending the shelf life of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Postharvest Biology and Technology*, *104*, 33-41. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.03.007
36. Youwei, Y., & Yinzhe, R. (2013). Grape preservation using chitosan combined with β-Cyclodextrin. *International Journal of Agronomy*. https://doi.org/10.1155/2013/209235
37. Yueming, J., & Li, Y. (2001). Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of longan fruit. *Food Chemistry*, *73*, 139-43. https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00246-6
38. Zahedi, Y., Ghanbarzadeh, B., & Sedaghat, N. (2010). Physical properties of edible emulsified films based on pistachio globulin protein and fatty acids. *Journal of Food Engineering*, *100*, 102-08. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.033
39. Zhang, K., Yuan-Yuan P., & Sun, D.W. (2018). Recent advances in quality preservation of postharvest mushrooms (*Agaricus bisporus*): A review. *Trends in Food Science & Technology*, *78*, 72-82. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.05.012
40. Zhang, X., & Flurkey, W.H. (1997). Phenoloxidases in Portabella mushrooms. *Journal of Food Science*, *62*, 97-100. https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04376.x